Baustoffe

Dieses Modul umfasst 50 % der schriftlichen Abiturprüfung.

Aufgaben

Baustoffe sind Materialien, die zur Errichtung von Gebäuden genutzt werden. Neben natürlichen Baustoffen wie Metall oder Stein kommen heutzutage überwiegend künstlich hergestellte Verbindungen, z. B. Glas oder Kunststoffe, zum Einsatz.

1 Kalkmörtel, der zum Mauern eingesetzt wird, ist eine Mischung aus dem sogenannten Löschkalk und Sand. Unter Löschkalk versteht man Calciumhydroxid $Ca(OH)_2$. Zur Herstellung von Löschkalk werden Kalksteine über längere Zeit auf hohe Temperaturen erhitzt. Bei diesem sogenannten Kalkbrennen entsteht Branntkalk, der wiederum in einem weiteren Schritt, dem Kalklöschen, zu Löschkalk umgesetzt wird.

1.1 Im Prozess des Kalkbrennens zerfällt Calciumcarbonat in einem Kalkschachtofen zu Calciumoxid. Dabei entsteht Kohlenstoffdioxid.



$$CaCO_3\,(s) \rightleftharpoons CaO\,(s) + CO_2\,(g)$$

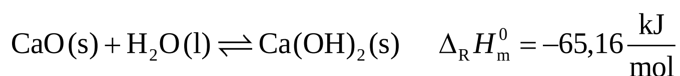
1.1.1 Bei Raumtemperatur liegt das Gleichgewicht nahezu vollständig auf der Eduktseite. Erst bei höheren Temperaturen findet ein merklicher Zerfall des Carbonats statt. Bei 900,0 °C beträgt die Gleichgewichtskonstante K_c = 2,817 mol/L.
Berechnen Sie K_p sowie den Partialdruck $p(CO_2)$ im Gleichgewicht in bar.

(4 BE)

1.1.2 Ein Kalkschachtofen hat eine Tagesleistung von 150,0 t Kalkstein ($w(CaCO_3)$ = 95,00 %).
Berechnen Sie das Volumen an Kohlendioxid in m^3, das bei einer Temperatur der Außenluft von 15,00 °C und einem Luftdruck von 934,0 hPa pro Tag anfällt.

(4 BE)

1.2 Beim Kalklöschen lässt man Branntkalk (Calciumoxid) mit Wasser reagieren, es entsteht der Löschkalk. Bei dieser Reaktion handelt es sich um eine exotherme Reaktion.



$$CaO\,(s) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons Ca(OH)_2\,(s) \qquad \Delta_R H_m^0 = -65{,}16\,\frac{kJ}{mol}$$

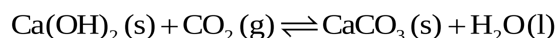
1.2.1 Die Reaktion ist mit einer Entropieänderung von $\Delta_R S_m^0 = -25{,}64\,J/(mol \cdot K)$ verbunden.
Begründen Sie die Verringerung der Entropie anhand der Reaktionsgleichung.
Die Reaktion läuft unter Standardbedingungen freiwillig ab.
Erklären Sie diese Tatsache.

(5 BE)

1.2.2 Berechnen Sie die Gleichgewichtskonstanten K_c bei den Temperaturen T = 298,0 K und 1173 K und erklären Sie die Unterschiede.

(6 BE)

1.3 Hauptverwendungszweck des Löschkalks ist die Mörtelbereitung. Dabei wird zunächst Löschkalk mit Wasser zu einem Brei angesetzt. Zur Verwendung als Baustoff wird der Kalkbrei mit Sand vermischt. Der Mörtel dient zur Verbindung von Mauersteinen und zum Verputzen von Wänden. Der Mörtel nimmt aus der Luft Kohlendioxid auf und erhärtet dabei unter Wasserabgabe zu Calciumcarbonat.



$$Ca(OH)_2\,(s) + CO_2\,(g) \rightleftharpoons CaCO_3\,(s) + H_2O(l)$$

Berechnen Sie die molare Standardreaktionsenthalpie dieses Kalkabbindens mithilfe von Material 1.

(3 BE)

1.4 Kreide (hier ist nicht die Tafelkreide gemeint) ist eine poröse Form von Kalkstein. So wie Kreide, also Calciumcarbonat $CaCO_3$, wird auch Gips in der Baustoffindustrie genutzt. Die Stoffe ähneln sich in ihrem Aussehen – beide sind weiß-grau – und in ihrer chemischen Zusammensetzung. Gips wird oft als „schwefelsauer Kalk“ bezeichnet, denn es handelt sich um Calciumsulfat $CaSO_4$. Kreide ist jedoch erheblich teurer als Gips. Ob es sich bei einem Baustoff um Kreide handelt, lässt sich durch die Probe mit Essig (Ethansäure) feststellen. Kreide zersetzt sich schäumend, Gips verändert sich nicht.
Erklären Sie diese Beobachtung mithilfe einer Reaktionsgleichung.

(4 BE)

2 Für Mörtel auf Kunststoffbasis und als Klebstoffe werden sogenannte Epoxidharze eingesetzt. Epoxid-Verbindungen haben als funktionelle Gruppe Dreiringe mit einem Sauerstoff-Atom.

2.1 Die einfachste Epoxid-Verbindung Ethylenoxid (Material 2) wurde in den 1920er Jahren erstmals in zwei Schritten hergestellt. In Schritt (1) wird Ethen $H_2C{=}CH_2$ mit Chlor Cl_2 zu 2-Chlorethan-1-ol ($Cl\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}OH$) umgesetzt. Diese Reaktion läuft in alkalischem Milieu ab. In Schritt (2) reagiert 2-Chlorethan-1-ol zu Ethylenoxid.

2.1.1 Formulieren und benennen Sie den Reaktionsmechanismus für Schritt (1).

(5 BE)

2.1.2 Formulieren und benennen Sie den Reaktionsmechanismus für Schritt (2), die Bildung von Ethylenoxid aus 2-Chlorethan-1-ol in alkalischem Milieu.

(5 BE)

2.1.3 Die großtechnische Herstellung von Ethylenoxid erfolgt heute ausschließlich durch die katalytische Oxidation von Ethen mit Sauerstoff. Als Katalysator wird fein verteiltes Silberpulver eingesetzt.
Formulieren Sie die Reaktionsgleichung nach der Oxidationszahlmethode.
Geben Sie die Funktion eines Katalysators an.

(5 BE)

2.2 Epoxidharze sind Moleküle mit in der Regel zwei endständigen Epoxidgruppen (Material 3). Sie gehören zu den härtbaren Harzen, d. h. bei Umsetzung mit einem Härter entsteht ein langkettiges Makromolekül mit hervorragenden mechanischen Eigenschaften.
Als Härter werden mehrfache Amine, zum Beispiel Diaminocyclohexan, genutzt, die die Epoxidharz-Moleküle zu einem Additionsprodukt miteinander verknüpfen (Material 4).
Entwickeln Sie den Reaktionsmechanismus für die Aushärtung des Epoxidharzes mit Diaminocyclohexan.

(5 BE)

3 Zu den anorganischen Baustoffen gehören auch Metalle. Diese werden z. B. zum Schutz vor Korrosion oder zu Dekorationszwecken als Überzug auf Oberflächen, beispielsweise als Kupferschicht, aufgebracht. Das Beschichten erfolgt mittels Elektrolyse, wobei das zu beschichtende Werkstück als Kathode geschaltet wird, während die Anode aus Kupfer besteht und beide Elektroden in eine $CuSO_4$-Lösung tauchen. Die Stromstärke beträgt $I = 180\,A$.
Berechnen Sie die Zeit in Stunden, die für das Verkupfern eines Werkstückes mit einer Oberfläche $A = 1{,}20\,m^2$ bei einer Schichtdicke $d = 200\,\mu m$ benötigt wird, wenn die Stromausbeute 93,0% beträgt.

Hinweis: Kupfer hat die Dichte $\rho(Cu) = 8{,}96\,g/cm^3$.

(4 BE)

Material 1

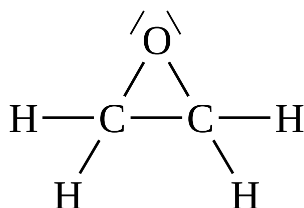
Molare Standardreaktionsenthalpien anorganischer Verbindungen

Verbindung	Molare Standardbildungsenthalpie $\Delta_R H_m^0$ in kJ/mol
$Ca(OH)_2$ (s)	–986,1
CO_2 (g)	–394,0
$CaCO_3$ (s)	–1207
H_2O (g)	–242,0
H_2O (l)	–286,0

P.W. Atkins Physikalische Chemie, Zweite Auflage, S.1038-1039

Material 2

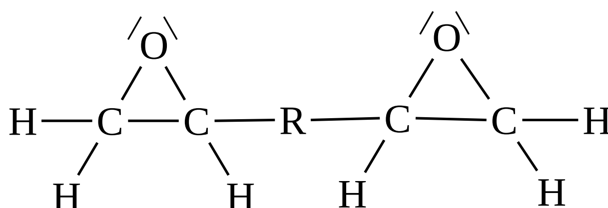
Strukturformel des einfachsten Epoxids Ethylenoxid



Ethylenoxid

Material 3

Allgemeine Strukturformel eines Epoxidharzes



Epoxidharz

Material 4

Ausschnitt des Additionsprodukts aus Epoxidharz und Diaminocyclohexan

